维普资讯 http://www.cqvip.com

动 物 学 研 究 1999, Aug. 20 (4): 278~283 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

棕色田鼠的发声及其频谱分析*

郃发道 王廷正 闵一建
(陕西师范大学生命科学学院 西安 710062) (陕西师范大学应用声学研究所 西安 710062)

摘 要 对不同年龄的棕色田鼠(*Microtus mandarinus*)在不同状态下的发声进行了声谱分析,以研究其发声与行为之间的关系及其发育规律。棕色田鼠幼体的频谱图较简单,一般有1~2个波峰,主能峰频率(MPF, main peak frequency)在1 800 Hz左右,且能量区为1个,位于中频区(1 300~2 500 Hz);发声以单音节为主,持续40~100 μs。亚成体频谱图较幼体复杂,为2个相距较近的能量区,均位于中频区(750~1 320 Hz,1 431~1 570 Hz),MPF=945 Hz;叫声单、双音均有,持续时间35 μs,但间隔时间较长,约378 μs。成体频谱图最复杂,常具多个能量峰,不同生活状态下差别较大,但均为2个能量区,1个位于中频区(550~4 127 Hz),1个位于高频区(5 500~8 125 Hz),主能量峰频率(MPF)不同,持续时间差别较大,不同个体在不同状态的发声常具不同生物学作用。

关键词 棕色田鼠,发声,频谱分析
中图分类号 Q959.837

动物的发声是个体之间相互传递信息的主要工具。国内外在鸟类的声通讯(姜仕仁等,1996;韩联宪等,1988;Farabaugh,1998;Dooling,1992)及声发育(Thorpe,1961;Catchpole,1979)方面有较多的研究,对3种蛙的鸣声研究也有报道(姜仕仁,1995)。在哺乳类动物声行为研究方面,对大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)等珍稀动物的声行为研究较多(朱靖等,1987;赵灿南等,1988)。由于鼠类生性隐匿,故国内对其发声的系统研究报道较少,仅见几种鼠惊叫声的种特性和种变异分析(蒋锦昌等,1993)。而国外除了研究鼠类的可听声(20 Hz~20 kHz)外,还分析研究了鼠类在不同行为状况下所发出的超声波(>20 kHz)(Knutson,1998)。棕色田鼠(*Microtus mandarinus*)为较严格的地下生活鼠种,有关该鼠的声谱分析及发育规律尚未见报道,本文对其不同行为与发声之间的关系进行了研究。

1 材料与方法

实验所用棕色田鼠从河南灵宝采集,幼体为人工繁殖,以体重判断棕色田鼠的年龄(郃发道等,1997)。在模拟自然生活状态下,用TOSHIBA-KTV850型微型录音机及配套小话筒直接接近棕色田鼠录音。录音机的频响范围为100 Hz~12 kHz,录音带采用SONY-EF60盒式磁带,测量分析采用日本SAN-EI公司低通滤波器9B02送入森荣7T08-S实时谱分析仪分析。分析仪带宽0~50 kHz。为了提高对非稳态声信号进行处理的科学性,仪器对每个发声样本进行分析时,预选采样80次,经统计分析后得出平均功率谱,并加用汉宁窗以提高信噪比,最后采用X-Y8U16记录仪记录结果。

对每类发声选5个发声样本,通过以上测试线路进行分析并记录发声特征的数据,选择具有典型代表性的发声频谱图,用记录仪进行绘制。发声行为的频次和持续时间用OBSERVE行为观察分析软件包记录分析。

2 结 果

2.1 幼体叫声

2.1.1 幼体叫声的行为学特征 棕色田鼠幼体在出生后直到断奶以前,一直发出"吱-吱-吱"的叫声,发声较单调,全天都在叫,叫声频次较高。所以我们对不同日龄的幼仔每天随机选取30 min,用THE OBSERVE软件包记录棕色田鼠的鸣叫次

* 国家自然科学基金和陕西省自然科学基金资助项目
本文1998-09-17收到,1998-12-28修回

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 1　棕色田鼠幼仔叫声随天数变化表*

Table 1　The mean duration and frequency of calling behaviour in mandarin vole as a function of larvas age

出生天数 (cub's age by day)	单亲家庭(only mother and pups)			双亲家庭(both parents and pups)		
	叫声持续时间/s (duration of each call)	标准差 (*SD*)	次数 (number of times)	叫声持续时间/s (duration of each call)	标准差 (*SD*)	次数 (number of times)
1	10.23	3.24	2	1.22	0.82	1
2	200.44	34.44	20	189.06	23.87	21
3	325.12	40.23	25	75.44	20.32	15
4	72.00	19.92	16	40.00	12.19	8
8	100.33	23.19	20	15.19	8.30	5
11	132.50	31.89	25	90.03	12.55	15
15	57.61	17.74	18	64.61	21.01	19
16	50.43	10.91	12	41.00	18.34	10
17	106.20	14.22	20	90.23	30.13	22
19	31.00	11.88	10	27.49	7.22	9
20	21.25	7.05	7	20.30	6.38	6
22	2.33	0.20	1	1.33	0.12	1

* $n=5$

数以及鸣叫持续的时间(表 1),直到 22 d 断奶为止。棕色田鼠在出生 1 d 后,叫声频次迅速上升,在断奶前一直处于高峰期。但在单亲家庭,幼体叫声的持续时间和次数均高于双亲家庭。这也许是双亲伏窝的总时间多于单亲伏窝时间的缘故。

我们发现断奶前幼体的叫声具有召唤母亲的作用。叫声以单音节为主。超过 10 s 的叫声即可引起雌鼠舔幼体动作或喂奶行为。将幼体放入硬纸盒中,置于巢外,雌鼠出巢频次明显增加,平均为 11 次/15 min,而正常情况下平均仅为 2.31 次/15 min。将幼体放置巢外,幼体叫声急促,大约 5 次/min,持续时间可长达 20 s,雌鼠听到后可迅速叼回幼体。

2.1.2　幼体叫声的声谱分析　从频谱特征来看,幼体仅 1 个能量区,处于中频范围(1 300～2 600 Hz)。其主峰频率(MPF, main peak frequency)为 1 833～2 307 Hz,随着日龄的增加,主峰频率有降低的趋势(表 2;图 1:a～d),而峰的个数有增加的趋势。而且幼体的频谱曲线也较简单。从时域特征来看(表 3),幼体叫声单调,只能发出"吱、吱"的叫声,一般为单音节,但频次较多。3 日龄幼体叫声持续时间为 46 μs,间隔 302 μs。5 日、8 日龄幼体叫声持续时间延长,分别为 131 μs、111 μs;间隔时间缩短,分别为 55 μs、50 μs。

2.2　亚成体发声

亚成体发声的频次比幼体少得多,只有在受惊扰时才发出声音。但亚成体的频谱图又较幼体复杂,并且为 2 个相距较近的能量区(750～1 320 Hz, 1 431～1 579 Hz),均处于中频区,很明显是从幼体的 1 个能量区发育来的,并且也具有 2 个峰值频率,主峰频率(MPF)大为降低,仅为 945 Hz,比幼体降

表 2　棕色田鼠不同年龄个体叫声频谱特征比较

Table 2　The comparison on the characteristics of frequency spectrum of mandarin vole in different ages

年龄 (age)	能量分布范围/Hz (frequency range)	能量区 (energy range)	峰值频率/Hz (frequency of peaks)				主峰频率/Hz (MPF)
3 日龄 (3 days)	1 695～2 418	1	2 140	2 307			2 307
5 日龄 (5 days)	1 365～2 301	1	1 833	2 203			1 833
8 日龄 (8 days)	1 598～2 599	1	1 876	2 085	2 515		1 876
15 日龄 (15 days)	780～3 120	1	1 024	1 366	2 122	2 684	1 024
亚成体 (sub-adult)	1 431～1 570	2	945	1 487			945
	750～1 320						
成体（争食）(adult scrambling for food)	695～1 570	2	986	1 209	1 348	2 307	986
	1 904～2 766						
成体（警告）(adult warn)	650～4 127	2	877	1 527	2 502	6 175	1 527
	5 720～8 125						
成体（威胁）(adult threatening)	561～3 830	2	1 171	2 537	3 055	6 100	1 171
	5 565～7 051		6 661	6 905			
成体（攻击）(adult attack)	1 560～3 490	2	1 813	2 703	3 061	7 605	7 605
	5 869～7 722						
雄成体（惊扰）(male being disturbed)	585～2 366	2	1 024	1 488	2 366		2 366
	5 307～7 970						
雌成体（惊扰）(female being disturbed)	561～2 684	2	1 122	1 576			1 122
	5 069～6 997						

维普资讯 http://www.cqvip.com

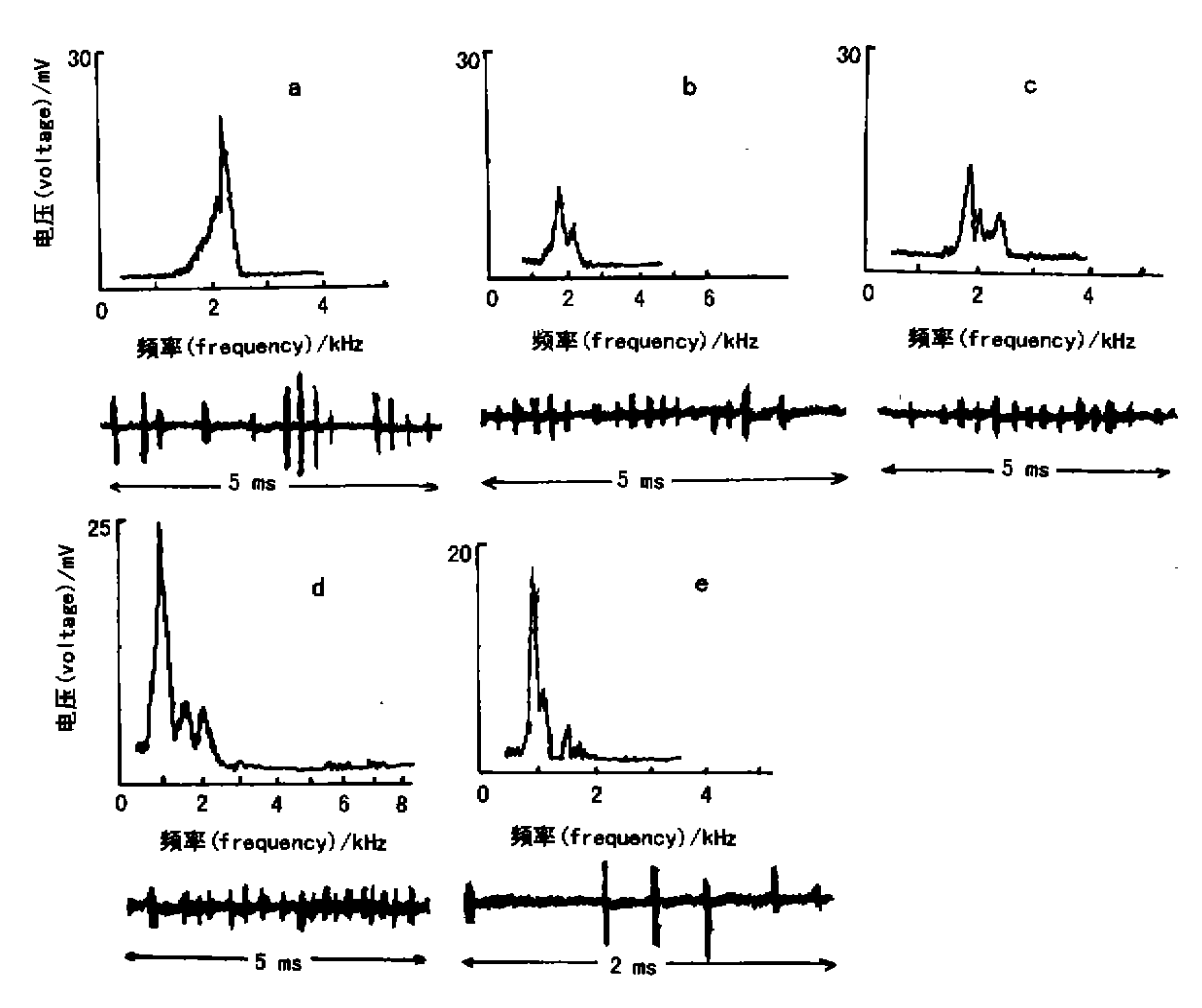


图 1 幼体和亚成体棕色田鼠叫声的频域和时域图

Fig.1 Frequency and time spectrum of the calling songs of newborn and subadult mandarin vole

a. 3日龄 (3 days age); b. 5日龄 (5 days age); c. 8日龄 (8 days age); d. 15日龄 (15 days age); e. 亚成体 (sub-adult)。

表 3 棕色田鼠不同年龄个体叫声的时域特征比较*

Table 3 The comparison on the characteristics of time spectrum of mandarin vole in different ages (μs)

个体年龄 (age group)	持续时间 (duration)		间隔时间 (interval)	
	平均值 (mean)	标准差 (SD)	平均值 (mean)	标准差 (SD)
3日龄 (3 days)	46.11	4.20	302.34	30.45
5日龄 (5 days)	131.25	18.54	55.47	7.00
8日龄 (8 days)	111.30	10.11	50.92	6.87
15日龄 (15 days)	113.33	1.78	108.03	28.80
亚成体 (sub-adult)	35.46	2.16	378.59	40.69
成体 (争食) (adult scrambling for food)	159.16	11.56	147.17	12.56
成体 (警告) (adult warn)	349.15	15.27	312.51	15.14
成体 (威胁) (adult threatening)	364.85	21.39	330.21	11.23
成体 (攻击) (adult attack)	221.24	19.59	941.29	78.99
雄成体 (惊扰) (male being disturbed)	180.78	27.20	391.37	23.45
雌成体 (惊扰) (female being disturbed)	114.33	12.50	468.61	22.88

* $n=5$

低了大约2.5倍。从时域特征来看，亚成体叫声比较特别，可发出“吱、吱”，或者“吱吱、吱吱”的叫声，单音节、双音节均有。持续时间仅35 μs，间隔时间却长达378 μs (图1e)。

2.3 成体发声

成年棕色田鼠有多种具有典型特征的叫声，这些叫声和特定行为密切相关。成体的频谱图最为复杂，常具2个能量区，1个中频区，1个高频区。在中

维普资讯 http://www.cqvip.com

频能量区与高频能量区之间有一段明显的间隔，能量区间隔一般大约为 1 500～3 000 Hz，每个能量区有多个峰值。成体发声频域较宽，从 561～8 125 Hz 均有分布，大大超出幼体及亚成体频域范围。成体时域特征最为复杂，叫声中单音、双音、三音均有，持续时间在 160 μs 以上。但间隔时间有长有短，短的可为 50 μs，长可达 2 000 μs。频谱特征和时域特征在不同的发声状态下也不同(图 2，表 2，表 3)。

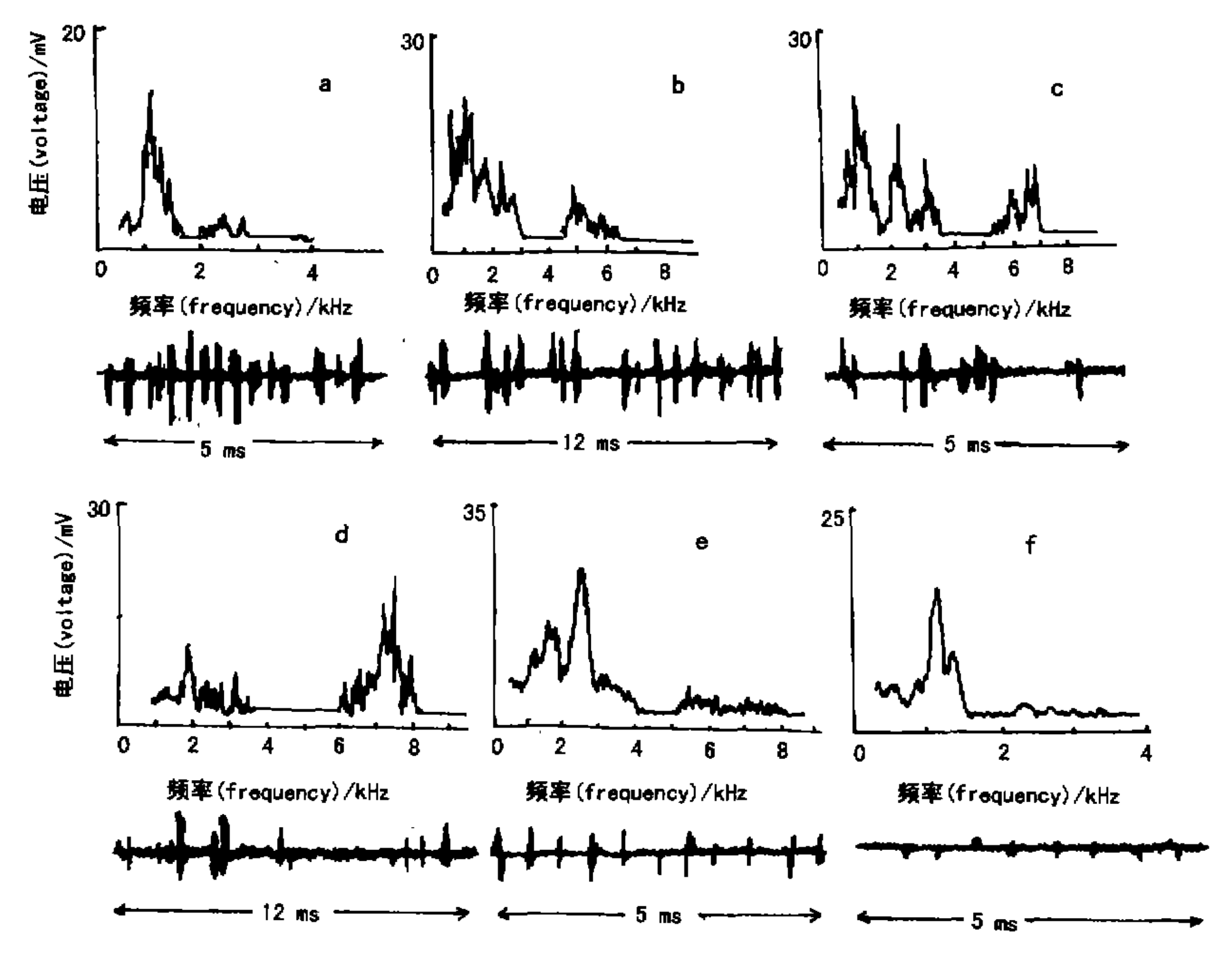


图 2 成年棕色田鼠叫声的频域和时域图

Fig.2 Frequency and time spectrum of the calling songs of adult mandarin vole

a. 成体争食 (adult scrambling for food)；b. 成体警告 (adult warn)；c. 成体威胁 (adult threatening)；
d. 成体攻击 (adult attack)；e. 雄成体惊扰 (male being disturbed)；f. 雌成体惊扰 (female being disturbed)。

2.3.1 争食叫声 这类叫声是个体在争抢食物时发出的声音，叫声类似于威胁声。叫声持续时间与间隔时间基本相等，分别为 159、147 μs。能量区较窄，处于中频区，为 695～1 570 Hz，1 904～2 766 Hz。主峰频率(MPF)为 986 Hz，与亚成体能量区相似(图 2a)。

2.3.2 警告和威胁声 这类声音往往见于陌生个体间见面时所发出的声音。当将陌生的同性个体或异性个体放置于同一饲养箱时，两个陌生个体发出警告声。警告时站在原地向对方不停地叫着，而发出威胁声音时有向对方扑的趋势。这两类声音的频谱特征有明显差异，前者的能量集中于低端，发声能量集中，而后者的能量较为分散。这类叫声特点是发声低沉，持续时间与间隔时间基本相同，能量区范围较宽，平均持续时间在 357 μs，间隔时间为 321 μs (图 2：b，c)。

2.3.3 攻击声音 这类叫声是两个个体在打斗时发出的声音。这类叫声尖厉，持续时间为 221 μs，但是间隔时间很长，为 941 μs。从频谱图可见，在高频区能量显著增加，中频区能量反而较少，与其他叫声明显不同。能量区分别为 1 560～3 490 Hz，5 869～7 722 Hz，并且主峰频率 (MPF) 也显著提

维普资讯 http://www.cqvip.com

高，为 7 605 Hz（图 2d）。

2.3.4 惊叫声 这类叫声是个体遇到惊扰时发出的声音，并且雌体与雄体惊扰声明显不同。雌性个体惊叫声嘶哑，持续时间短，大约为 114 μs；雄性个体叫声嘹亮，持续时间较长，一般为 180 μs 左右。而且雌雄个体主峰频率（MPF）也不相同，雌性的主峰频率明显小于雄性，而且较稳定，分别为 1 122 和 2 366 Hz。成体惊叫声一般有求救作用，同时也有报警作用。在用木棒惊扰雌鼠时，雌鼠惊叫声往往引起雄鼠扑咬木棒或者躲开（图 2：e，f）。

综上所述，棕色田鼠从幼体、亚成体向成体发育过程中，从频谱特征来看，其发声的能量区，由 1 个发展为 2 个。其音域逐渐宽广，由中频区逐渐发展到高频区。而时域特征也从简单变得较为复杂多样。

3 讨 论

3.1 棕色田鼠的声音发育

鸟类在不同的年龄阶段具有明显的声谱发育特征（Thorpe, 1961）。棕色田鼠的声音发育也具有明显的发育过程，不同年龄个体的叫声有不同的生物学意义。幼体叫声在时域及频谱方面均较简单，叫声以单音节为主。具有 1 个处于中频范围的能量区，叫声仅具有召唤母亲的作用，这可能与幼体的发音器官不够完善有关。随着幼体发育，叫声持续时间逐渐延长，在接近成体时，又逐渐缩短。间隔时间则相反。亚成体的声音为幼体与成体的过渡类型，部分具有两者相同的声学特征。亚成体具有 2 个都位于中频区的能量区，并且 2 个能量区相距较近。从表 1 可看出，它是从幼体的 1 个能量区发育而来的，叫声有单、双音节，但主峰频率（MPF）比幼体降低大约 2.5 倍。成体叫声在时域及频谱方面最为复杂，这也许是因为成体发音器官发育完善，可包含较多信息量的缘故。成体叫声中单音、双音以及多音节均可出现，并且音域宽广，具有 2 个能量区，在中频、高频区均有分布，常具有多个峰值频率。

3.2 棕色田鼠与褐家鼠发声的区别

通过对褐家鼠(*Rattus norregicus*)的声谱分析发现(蒋锦昌等，1993)，褐家鼠的频谱图表现为 3 个能量区，即 2 975～3 700 Hz，4 450～5 700 Hz，5 950～7100 Hz，MPF = 6 300 ± 354 Hz。黑线仓鼠(*Cricetlcus barabensis*)的频谱图能量区主要集中在 3 092～5 408 Hz，MPF = 4 675 ± 115 Hz，而棕色田鼠的能量区集中于 561～4 127 Hz，5 069～8 125 Hz，MPF = 1 200 ± 300 Hz。地上活动的鼠类，声音通讯起着更加重要的作用；而棕色田鼠为比较严格的地下生活鼠类，声音为次要的通讯工具。所以褐家鼠和黑线仓鼠的频谱图比棕色田鼠复杂，波峰也较多。但是，黑线仓鼠频谱图比较接近于棕色田鼠频谱图。而在分类学上黑线仓鼠与棕色田鼠的亲缘关系也比较接近。因此，对动物叫声的声学性状进一步研究有可能为其分类学提供一定的依据。

3.3 棕色田鼠的声音具有特定的生物学意义

有关鸟类的鸣声很早就用于益鸟的招引和害鸟的驱避（Felicity, 1987）。国内外已使用超声驱鼠器来驱逐害鼠。在实验过程中，我们发现，棕色田鼠特定的叫声具有特定的生物学意义，例如具有召唤、警告、威胁、报警、攻击等作用。实验时将棕色田鼠特定的叫声剪裁下来，利用录音机回放，可观测到鼠类特定的反应。例如回放鼠类受到危险时的报警声，可引起其余鼠类争相逃窜；回放攻击前的威胁叫声，可使其他鼠类不敢靠近录音机取食。可见，在棕色田鼠声行为方面的进一步研究，对于诱杀鼠类以及应用仿声学防治鼠类危害具有重要的应用价值。

家鼠在屈服时发出低频超声波，而在接近和进攻时发出高频超声波（Thomas, 1982），隐藏起来的成体在捕食者出现时向同类个体发出低频超声波以起到报警作用（Blanchard, 1991），甚至幼仔和它的双亲分开时也发出很有特征的中频超声波（Blumber, 1991）。我们只研究了棕色田鼠的可听声部分，而棕色田鼠是否发出超声波，超声波与不同行为状态是否有紧密的联系，还有待进一步深入研究。

参 考 文 献

朱 靖，孟智彬，1987. 大熊猫发情期叫声及其行为意义. 动物学报，33(3)：285～292. [Zhu J, Meng Z B, 1987. On the vocal behaviour during the estrous period of the giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*). *Acta Zoologica Sinica*, 33(3)：285－292.]

维普资讯 http://www.cqvip.com

邰发道,王廷正,1997.棕色田鼠的种群年龄结构和密度的关系分析.陕西师范大学学报,25(增):95~97 [Tai F D,Wang T Z,1997. Analysis of relationship between age-structures and population densities of mandarin voles. *Journal of Shaanxi Normal University*, 25(sup):95-97.]

赵灿南,王鹏彦,1988.大熊猫幼仔叫声的声谱分析.大自然探索,7(2):99~101.[Zhao C N, Wang P Y, 1988. The sound spectrum analysis of calls in the baby giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*). *Exploration of Nature*,7(2):99-101.]

姜仕仁,丁　平,诸葛阳,1995.三种蛙鸣声特征比较研究.动物学研究,16(1):75~81.[Jiang S R,Ding P,Zhu G Y,1995. The comparative study on the characteristics of calling songs of three frog species. *Zoological Research*,16(1):75-81.]

姜仕仁,丁　平,诸葛阳等,1996a.白头鹎繁殖期鸣声行为的研究.动物学报,42(3):253~259.[Jiang S R, Ding P, Zhu G Y *et al*, 1996a. Characteristics of songs of Chinese bulbul (*Pycnonotus sinensis*) in the breeding season. *Acta Zoologica Sinica*,42(3):253-259.]

姜仕仁,丁　平,李建华,1996b.红腹锦鸡鸣声声谱分析.动物学研究,17(4):403~409.[Jiang S R, Ding P, Li J H, 1996b. The sound spectrographic analyses on the call of golden pheasant *Chrysolophus pictus*. *Zoological Research*,17(4):403-409.]

韩联宪,杨　岚,郑宝赉,1988.白腹锦鸡鸣声的声谱分析.动物学研究,9(2):127~132.[Han L X, Yang L, Zheng B L, 1988. The sound spectrographic analyses on the calls of lady amherst's pheasant (*Chrysolophus amherstiae*). *Zoological Research*,9(2):127-132.]

蒋锦昌,徐慕玲,王　强,1993.褐家鼠声行为的种特性和种族变异.遗传学报,20(1):33~43.[Jiang J C, Xu M L, Wang Q, 1993. Species character and race varistion of acoustic behaviour in brown house rat (*Rattus norvegicus*) *Acta Genetica Sinica*,20(1):33-43.]

Blanchard R J,Blanchard D C,Agullana R *et al*,1991. Twenty-two kHz alarm cries to presentation of a predator,by laboratory rats living in visible burrow systems. *Physiology and Behaviour*,50(5),967-972.

Blumberg M S,Alberts J R,1991. On the significance of similiarities between ultrsonica vocalization of infant and adult rats. *Neuroscience and Biobehavioural Reviews*,15:383-390.

Catchpole C K, 1979. Vocal comunication in birds. Lodon: Edward Arnold 149-166.

Dooling R J,Brown S D,Klump G *et al*,1992. Auditory processing of conspecific and heterospecific vocalizations in birds: Evidence for special process. *Journal of Comparative Psychology*,106(1):20-28.

Farabaugh S M,Dent M L,Dooling R J,1998. Hearing and vocalization of wild-caught Australian budgerigars (*Melopsittacus undulatus*). *Journal of Comparative Psychology*,112(1):74-81.

Felicity H,1987. The study of animal behaviour. Lodon: Chapman and Hall. 337-338.

Knutson B, Burgdorf J, Panksepp J, 1998. Anticipation of play elicits high-frequency ultrasonic vocalization in young rats. *Journal of Comparative Psychology*,112(1):65-73.

Thomas D A,Howard S B,Barfield R J,1982. Male-produced ultrasonic vocalizations and mating patterns in female rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*,96:807-815.

Thorpe W H,1961. Bird song. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 99-111.

THE CALLING BEHAVIOURS AND SOUND SPECTROGRAPH OF *Microtus mandarinus*

TAI Fa-dao　WANG Ting-zheng　MIN Yi-jian
(*College of Life Science, Shaanxi Normal University　Xi'an*　710062)

Abstract　The sound spectrograph of mandarin vole in different age groups and behavioural states were analysed in order to study the regular pattern of the song's development and the relationship between the characters of calling songs and relative behaviours. Sonograms of juveniles were simple and the MPF (main peak frequency) was about 1 800 Hz. There was one energy range located in medium frequency range (1 300-2 500 Hz). The sonograms of sub-adults were more complicated than those of juveniles and there were two energy ranges which both were located in medium frequency range (750-1 302 Hz,1 431-1 570 Hz),MPF = 945 Hz. The frequency spectrums of calling songs of adults were the most complicated and had several energy peaks. Although there was great difference in different conditions, two energy ranges were generally located in adults. One was located in medium frequency range (550 - 4 127 Hz) and the other was located in high frequency range (5 500-8 125 Hz). The calls of different individuals in different behavioural states had different biological meanings.

Key words　*Microtus mandarinus*, Calls, Spectrographic analyses